

**KOREAN INDUSTRIAL
PROPERTY OFFICE**

This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Industrial
Property Office.

Application Number: Patent Application No. 00-7875

Date of Application: 18 February 2000

Applicant(s): Samsung Electronics Co., Ltd.

21 April 2000

COMMISSIONER

1020000007875

2000/4/2

[Document Name] Patent Application

[Application Type] Patent

[Receiver] Commissioner

[Reference No.] 0004

[Filing Date] 2000.02.18

[IPC] H04L

[Title] Apparatus and method for transmitting and receiving
orthogonal frequency division multiplexing signal

[Applicant]

[Name] Samsung Electronics Co., Ltd.

[Applicant code] 1-1998-104271-3

[Attorney]

[Name] Young-pil Lee

[Attorney's code] 9-1998-000334-6

[General Power of Attorney Registration No.] 1999-009556-9

[Attorney]

[Name] Hyok-gun Cho

[Attorney's code] 9-1998-000544-0

[General Power of Attorney Registration No.] 2000-002820-3

[Attorney]

[Name] Hae-young Lee

[Attorney's code] 9-1999-000227-4

[General Power of Attorney Registration No.] 2000-002816-9

[Inventor]

[Name] PARK, Ji Hoon

[I.D. No.] 711210-1042327

[Zip Code] 449-900

[Address] San 14-1 Nongseo-ri, Kiheung-eub, Yongin-city, Kyungki-do

[Nationality] Republic of Korea

1020000007875

2000/4/2

[Inventor]

[Name]	KIM, Yung Soo
[I.D. No.]	640112-1063613
[Zip Code]	449-900
[Address]	San 14-1 Nongseo-ri, Kiheung-eub, Yongin-city, Kyungki-do
[Nationality]	Republic of Korea

[Request for Examination] Requested

[Application Order] We respectively submit an application according to Art. 42 of the Patent Law and request and examination according to Art. 60 of the Patent Law.

Attorney	Young-pil Lee
Attorney	Hyok-gun Cho
Attorney	Hae-young Lee

[Fee]

[Basic page]	20 Sheet(s)	29,000 won
[Additional page]	18 Sheet(s)	18,000 won
[Priority claiming fee]	0 Case(s)	0 won
[Examination fee]	15 Claim(s)	589,000 won
[Total]	636,000 won	

[Enclosures]

1. Abstract and Specification (and Drawings)_1 copy



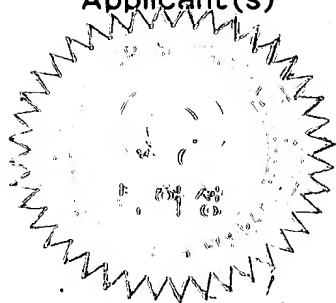
별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto is a true copy from the records of the Korean Industrial Property Office.

출원 번호 : 특허출원 2000년 제 7875 호
Application Number

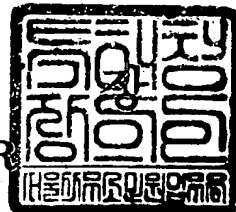
출원 년 월 일 : 2000년 02월 18일
Date of Application

출원 인 : 삼성전자 주식회사
Applicant(s)



2000 년 04 월 21 일

특 허 청
COMMISSIONER



【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0004
【제출일자】	2000.02.18
【국제특허분류】	H04L
【발명의 명칭】	직교 주파수 분할 다중 신호의 송/수신 장치 및 방법
【발명의 영문명칭】	Apparatus and method for transmitting and receiving orthogonal frequency division multiplexing signal
【출원인】	
【명칭】	삼성전자 주식회사
【출원인코드】	1-1998-104271-3
【대리인】	
【성명】	이영필
【대리인코드】	9-1998-000334-6
【포괄위임등록번호】	1999-009556-9
【대리인】	
【성명】	조혁근
【대리인코드】	9-1998-000544-0
【포괄위임등록번호】	2000-002820-3
【대리인】	
【성명】	이해영
【대리인코드】	9-1999-000227-4
【포괄위임등록번호】	2000-002816-9
【발명자】	
【성명의 국문표기】	박지훈
【성명의 영문표기】	PARK, Ji Hoon
【주민등록번호】	711210-1042327
【우편번호】	449-900
【주소】	경기도 용인시 기흥읍 농서리 산14-1번지
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김영수
【성명의 영문표기】	KIM, Yung Soo

【주민등록번호】	640112-1063613		
【우편번호】	449-900		
【주소】	경기도 용인시 기흥읍 농서리 산14-1번지		
【국적】	KR		
【심사청구】	청구		
【취지】	특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 이영필 (인) 대리인 조혁근 (인) 대리인 이해영 (인)		
【수수료】			
【기본출원료】	20	면	29,000 원
【가산출원료】	18	면	18,000 원
【우선권주장료】	0	건	0 원
【심사청구료】	15	항	589,000 원
【합계】	636,000 원		
【첨부서류】	1. 요약서·명세서(도면)_1통		

【요약서】

【요약】

본 발명은 직교 주파수 분할 다중 신호의 송/수신 장치 및 방법에 관한 것으로, 직교 주파수 분할 다중 신호의 송신 장치는 입력 데이터 시퀀스를 부호화하고, 부호화된 데이터를 병렬로 변환하는 전처리기; 부호화된 데이터를 소정 크기의 블록으로 나누고, 각 블록의 첫번째 위치에 '0'을 삽입하며, 각 블록을 시간영역 신호로 변환하여 결합하는 블록신호 영역 변환기; 블록신호 영역 변환기에서 '0'이 삽입된 위치중 소정 위치를 제외한 위치에 삽입될 파일럿 톤을 시간영역의 파일럿 신호로 변환하고, 블록신호 영역 변환기에서 출력된 시간영역 신호에 상기 파일럿 신호를 첨가하는 파일럿 신호 첨가기; 및 파일럿 신호 첨가기의 출력신호를 직렬 신호로 변환하고, 변환된 신호에 순환 프리픽스를 첨가하며, 그 결과신호를 아날로그 신호로 변환하여 전송하는 후처리기를 포함함을 특징으로 한다.

【대표도】

도 3

【명세서】

【발명의 명칭】

직교 주파수 분할 다중 신호의 송/수신 장치 및 방법{Apparatus and method for transmitting and receiving orthogonal frequency division multiplexing signal}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 일반적인 OFDM 신호 송신장치의 구성에 대한 블록도이다.

도 2는 일반적인 OFDM 신호 수신장치에 대한 블록도이다.

도 3은 본 발명에 따른 OFDM 신호의 송신장치에 대한 블록도이다.

도 4는 도 3에 도시된 블록신호 영역 변환기에 대한 상세 블록도이다.

도 5는 도 4의 '0'삽입기의 동작 결과를 도시한 것이다.

도 6은 도 4의 송신결합기의 동작 결과를 도시한 것이다.

도 7은 파일럿 신호가 부가되는 것을 주파수 영역에서 도시한 것이다.

도 8은 본 발명에 따른 OFDM 신호 수신장치에 대한 블록도이다.

도 9는 도 8의 채널추정기에 대한 상세 블록도이다.

도 10은 도 8의 $L \times M$ -FFT에 대한 상세 블록도이다.

도 11은 주파수 영역에서 가상 파일럿 톤을 삽입하는 것을 도시한 것이다.

도 12a는 트랜스폼 영역의 파일럿 톤의 크기를 도시한 것이다.

도 12b는 트랜스폼 영역에서 컷오프된 신호성분들에 '0'을 첨가된 것을 도시한 것이다.

도 13(a)는 본 발명에 대해 PAR에 대한 클리핑(clipping) 확률을 도시한 것이다.

도 13(b)는 종래 기술에 대해 PAR에 대한 클리핑 확률을 도시한 것이다.

도 14는 페이딩이 심한 채널 환경에서 SNR에 대한 채널추정에러를 본 발명, 종래기술 및 최적의 경우에 대해 각각 도시한 것이다.

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<17> 본 발명은 직교 주파수 분할 다중 신호의 송/수신 장치 및 방법에 관한 것으로, 특히 파일럿 신호를 삽입하여 채널을 추정하는 직교 주파수 분할 다중 신호의 송/수신 장치 및 방법에 관한 것이다.

<18> 직교 주파수 분할 다중(Orthogonal Frequency Division Multiplexing: OFDM) 방식은 단일 심볼블록내의 심볼들을 각각의 부반송파(subcarrier)에 실어서 송신하는 방식이다. OFDM은 주파수 분할 다중(Frequency Division Multiplexing) 방식과는 달리 부반송파들이 직교성을 가지고 중첩되기 때문에 심볼간의 간섭(Intersymbol Interference)이 없으면서 주파수 효율이 좋으며 단일 반송파 시스템에 비해 고속 디지털 무선 통신에서 발생하는 다중경로 페이딩(multipath fading)에 강한 특성을 갖는다. 그런데, 종래의 OFDM 시스템은 N-점(N-point) 역 고속 푸리에 변환(Inverse Fast Fourier Transform: IFFT)/고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform: FFT)을 사용하기 때문에 신호의 피크치 대 평균치의 비(Peak-

to-Average Ratio: PAR)가 매우 커져서 시스템 구현시 중대한 문제점이 발생하게 된다. 따라서, 고속 데이터 전송에 있어서는 단일 반송파 신호 전송방식에 비해 OFDM 방식이 더 적합하지만, 신호의 PAR이 크다는 결점으로 인하여 실용화에 어려움을 겪고 있다.

<19> 도 1은 일반적인 OFDM 신호 송신장치의 구성에 대한 블록도이다. 부호화기(101)는 송신하고자하는 데이터 시퀀스 b_n 을 서브심볼 X_n 으로 부호화한다. 직렬/병렬 변환기(S/P: 102)는 X_n 을 크기가 N 인 벡터 또는 블록으로 변환한다. 수신측에서의 채널추정을 위해 파일럿 톤 첨가기(103)는 X_n 에 M 개의 파일럿 톤 $P_i(i=1, \dots, M)$ 을 첨가하고, N -점 IFFT(N -point IFFT: N -IFFT)(104)는 파일럿 톤 첨가기(103)의 결과 데이터를 N -점 역 고속 푸리에 변환하여 시간영역 신호 x_k 로 변환한다. 여기서 n 은 주파수 영역 인덱스이며, k 는 시간 영역 인덱스이다.

<20> 병렬/직렬 변환기(P/S: 105)는 N 개의 구성요소들로 이루어진 벡터 또는 블록을 직렬 시간영역 신호 x_k 로 변환한다. 순환 프리픽스(cyclic prefix) 첨가기(106)는 N 개의 신호들 중에서 마지막 G 개의 신호들을 복사하여 N 개 신호들 맨 앞에 첨부한다. 이 G 개의 신호들이 순환 프리픽스이다. 이 $(N+G)$ 개의 신호 샘플들은 시간영역에서 하나의 OFDM 심볼 블록을 이룬다. 디지털/아날로그 변환기(D/A: 107)는 OFDM 심볼 블록들을 아날로그 신호로 변환한다. 아날로그 신호는 중간 주파수(Intermediate Frequency: I/F) 및 무선 주파수(Radio Frequency: R/F) 신호로 변환되어 출력된다.

<21> 도 2는 일반적인 OFDM 신호 수신장치에 대한 블록도이다. 아날로그/디지털 변환기(A/D: 108)는 수신 후, R/F 및 I/F 처리 과정에 의해 기저대역 신호로 변환된 신호 $r(t)$ 를 디지털 신호 r_k 로 변환한다. 순환 프리픽스 제거기(109)는 r_k 에서 OFDM 심볼 블록의 시작점을 찾아서 순환 프리픽스를 제거하여 N 개의 신호 샘플들을 출력한다. 직렬/병렬

변환기(S/P: 110)는 직렬 신호 샘플들을 크기 N의 벡터로 변환하고, N-점 FFT(N-FFT: 111)는 N-점 고속 푸리에 변환하여 시간영역 신호 r_k 를 주파수 영역 신호 R_n 으로 변환한다. N-FFT(111)의 출력신호 R_n 은 다음 식으로 표현할 수 있다.

<22> 【수학식 1】

$$R_n = X_n \cdot H_n + I_n + W_n$$

<23> 여기서, X_n 은 데이터와 파일럿 톤 P_i 을 포함하는 데이터, H_n 은 채널 응답, I_n 은 반송파간 간섭(Intercarrier Interference) 그리고 W_n 은 가산 백색 잡음(Additive White Gaussian Noise: AWGN)을 나타낸다.

<24> 채널 추정기(112)는 N-FFT(111)의 출력 R_n 으로부터 이미 알고있는 파일럿 톤 P_i 를 이용하여 다음 식과 같이 M개의 채널응답을 구할 수 있다.

<25> 【수학식 2】

$$\hat{H}_{n,i} = \frac{R_{n,i}}{P_i} = H_{n,i} + \frac{[I_{n,i} + W_{n,i}]}{P_i}, \quad i=1, \dots, M, \quad n=1, \dots, N$$

<26> 채널 추정기(112)는 $\hat{H}_{n,i}$ 로부터 데이터 심볼들의 채널응답을 선형보간(linear interpolation)하여 왜곡된 채널을 추정한다.

<27> 주파수영역등화기(frequency domain equalizer: FEQ)(113)은 각 주파수 인덱스 n별로 채널 추정기(112)의 출력을 주파수영역등화기(113)의 탭값으로 하여 N-FFT(111)의 출력 R_n 에 대해 채널에서 발생한 신호변형을 보상한다. 검출기(114)는 FEQ(113)의 출력 Z_n 으로부터 전송된 서브심볼 \hat{X}_n 을 검출한다. 병렬/직렬 변환기(115)는 크기 N의 벡터를 직렬 신호들로 변환하고, 복호화기(116)은 데이터 비트 \hat{b}_n 을 출력한다.

<28> 상술한 OFDM 신호 송수신장치에서 PAR을 줄이기위해 여러 방법들이 연구되었다.

OFDM 신호의 PAR를 줄이기 위한 종래의 방법들을 보면 OFDM 심볼 크기 N 이 작은 경우 알고리즘이 간단하면서도 매우 효과적이지만 동일한 방법을 N 이 큰 경우에도 적용할 수 없는 문제가 있다. N 이 큰 경우에 적용되는 알고리즘은 PAR를 많이 줄일수록 복잡도와 정보손실이 크게 증가하는 문제가 있다. 또한, OFDM 시스템에서는 송신신호가 채널의 특성과 AWGN 등의 영향을 받아 왜곡되어 수신되므로 왜곡된 수신신호에서 송신신호를 검출하기 위해서는 정확한 채널추정이 필요하다. 특히, 페이딩이 심한 채널환경에서는 채널 변화가 더욱 급격하기 때문에 채널을 제대로 추정하지 못하면, 많은 송신 정보를 복조할 수 없게 된다. 연구논문 [A. Leke and John. M. Cioffi, 'Impact of Imperfect Channel Knowledge on the Performance of Multicarrier Systems', GLOBECOM'98]은 OFDM 시스템에서 정확한 채널추정이 이루어지지 않을 경우의 신호대잡음비(SNR) 영향에 대해 연구한 것으로 채널추정의 중요성을 강조하고 있다. 그러나, 구체적인 채널추정의 방법에 대해서는 언급되지 않았다.

<29> OFDM 시스템에서 채널을 추정하는 기존의 방법으로는 기준 심볼을 이용하거나 파일럿 톤을 이용하는 방법이 있다. 미국특허 [US 5771223, 'Method of Receiving Orthogonal Frequency Division Multiplexing Signal and Receiver Thereof']은 기준 심볼을 이용한 발명이고, 미국특허 [US 5771224, 'Orthogonal Frequency Division Multiplexing Transmission System and Transmitter and Receiver Thereof']은 기준 심볼과 널(null) 심볼을 이용하여 채널을 추정하는 발명이다. 그런데, 기준 심볼을 이용하여 채널을 추정하는 방법은 채널의 변화가 거의 없는 환경에서는 적합한 채널추정 방법이지만, 페이딩이 심한 채널환경에서는 많은 채널추정 오류를 발생시킨다.

<30> 미국특허 [US 5406551, 'Method and Apparatus for Digital Signal Transmission

using Orthogonal Frequency Division Multiplexing']은 이미 알고 있는 주파수 영역에서 파일럿 톤을 정보 데이터에 일정한 간격으로 삽입하여 송신하고, 수신단계에서는 파일럿 톤을 주파수 영역에서 검출해 선형보간을 통해 채널의 감쇠정도를 추정하고 보상한다. 선형보간 방법은 파일럿 톤을 이용하는 일반적인 채널추정 방법으로서 채널의 변화가 느린 환경에서 적합하다. 그러나, 채널의 변화가 심하게 되면, 송신단계의 주파수 영역에서 일정한 간격으로 삽입한 파일럿 톤들 사이에도 많은 요동(fluctuation)이 발생하기 때문에 채널추정 오류가 커지게 된다. 이를 보완하기 위하여 미국특허 [US 5774450, 'Method of Transmitting Orthogonal Frequency Division Multiplexing Signal and Receiver Thereof']와 연구논문 [F. Tufvesson and T. Maseng, 'Pilot Assisted Channel Estimation for OFDM in Mobile Cellular Systems, Vehicular Technology Conference, 1997], 연구논문 [M. J. F. Garcia, J. M. Paez-Borralló and S. Zazo, 'Novel Pilot Patterns for Channel Estimation in OFDM Mobile Systems over Frequency Selective Fading Channels', PIMRC, 1999]은 선형보간 방법을 사용하면서 채널의 변화가 심한 환경에서 채널추정 오류를 줄이기 위하여 파일럿 톤을 변형시킨다. 또한, 미국특허 [US 5912876, 'Method and Apparatus for Channel Estimation'], 미국특허 [US 5732068, 'Signal Transmitting Apparatus and Signal Receiving Apparatus using Orthogonal Frequency Division Multiplexing']은 각각 부호화된 파일럿 신호 발생기와 클럭/파일럿 신호 발생기에 대한 발명으로서 부호화를 통해 파일럿 신호를 발생시키고, 이를 송신단계의 N-IFFT의 시간영역 출력신호에 부가하여 송신하는 것이다. 이는 부호화를 통한 마진(margin) 때문에 다른 발명에 비해서 더 좋은 채널 추정 성능을 얻을 수 있

다. 그러나, 이 발명은 PAR는 전혀 고려하지 않고 있기 때문에 실제 시스템 구현에는 많은 문제점을 안고 있다

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<31> 본 발명이 이루고자하는 기술적 과제는 파일럿 신호를 송신단의 시간영역에서 부가하여 송신하고, 수신단에서는 주파수 영역에서 가상 파일럿 톤(virtual pilot tone)을 삽입하여 채널을 추정하는 OFDM 신호의 송/수신 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

【발명의 구성 및 작용】

<32> 상기 기술적 과제를 이루기위한, 본 발명에 따른 OFDM 신호의 송신장치는 입력 데이터 시퀀스를 부호화하고, 부호화된 데이터를 병렬로 변환하는 전처리기; 부호화된 데이터를 소정 크기의 블록으로 나누고, 각 블록의 첫번째 위치에 '0'을 삽입하며, 각 블록을 시간영역 신호로 변환하여 결합하는 블록신호 영역 변환기; 상기 블록신호 영역 변환기에서 '0'이 삽입된 위치중 소정 위치를 제외한 위치에 삽입될 파일럿 톤을 시간영역의 파일럿 신호로 변환하고, 상기 블록신호 영역 변환부에서 출력된 시간영역 신호에 상기 파일럿 신호를 첨가하는 파일럿 신호 첨가기; 및 상기 파일럿 신호 첨가기의 출력신호를 직렬 신호로 변환하고, 변환된 신호에 순환 프리픽스를 첨가하며, 그 결과신호를 아날로그 신호로 변환하여 전송하는 후처리기를 포함함을 특징으로한다.

<33> 상기 기술적 과제를 이루기위한, 본 발명에 따른 OFDM 신호의 수신장치는 수신된 신호를 디지털 신호로 변환하고, 변환된 신호에서 순환 프리픽스를 제거하며, 그 결과신호를 소정 크기의 병렬 신호로 변환하고, 각 병렬 신호를 주파수 영역 신호로 변환하는 전처리기; 주파수 영역 신호의 소정 위치에 가상 파일럿 톤을 삽입하고, 상기 가상

파일럿 톤 및 송신시 첨가된 파일럿 톤을 추출하며, 추출된 가상 파일럿 톤 및 파일럿 톤으로부터 채널특성을 추정하는 채널 추정기; 추정된 채널 특성에 따라 상기 전처리기의 출력신호에 대해 채널에서 발생한 왜곡을 보상하는 등화기; 상기 등화기의 출력신호를 시간영역 신호로 변환하고, 시간영역 신호로부터 파일럿 신호를 제거하는 중간 처리기; 상기 중간 처리기의 출력 신호를 주파수 영역 신호로 변환하는 신호영역 변환기; 및 변환된 주파수 영역 신호로부터 송신 데이터를 검출하고, 검출된 데이터를 직렬 데이터로 변환하여 복호화하는 후처리기를 포함함을 특징으로 한다.

<34> 상기 기술적 과제를 이루기위한, 본 발명에 따른 OFDM 신호의 송신방법은 (a) 입력 데이터 시퀀스를 부호화하고, 부호화된 데이터를 병렬로 변환하는 단계; (b) 부호화된 데이터를 소정 크기의 블록으로 나누고, 각 블록의 첫번째 위치에 '0'을 삽입하는 단계; (c) '0'이 삽입된 각 블록을 시간영역 신호로 변환하여 결합하는 단계; (d) '0'이 삽입된 위치중 소정 위치를 제외한 위치에 삽입될 파일럿 톤을 시간영역의 파일럿 신호로 변환하고, 상기 각 블록의 시간영역 신호에 상기 파일럿 신호를 첨가하는 단계; 및 (e) 상기 (d)단계의 결과신호를 직렬 신호로 변환하고, 변환된 신호에 순환 프리픽스를 첨가하며, 그 결과신호를 아날로그 신호로 변환하여 전송하는 단계를 포함함을 특징으로 한다.

<35> 상기 기술적 과제를 이루기위한, 본 발명에 따른 OFDM 신호의 수신방법은 (a) 수신된 신호를 디지털 신호로 변환하고, 변환된 신호에서 순환 프리픽스를 제거하며, 그 결과 신호를 소정 크기의 병렬 신호로 변환하고, 각 병렬 신호를 주파수 영역 신호로 변환하는 단계; (b) 주파수 영역 신호의 소정 위치에 가상 파일럿 톤을 삽입하고, 상기 가상 파일럿 톤 및 송신시 첨가된 파일럿 톤을 추출하는 단계; (c) 추출된 가상 파일럿 톤 및 파일럿 톤으로부터 채널특성을 추정하는 단계; (d) 추정된 채널 특성에 따라 주파수

영역의 수신신호에 대해 채널에서 발생한 왜곡을 보상하는 단계; (e) 왜곡이 보상된 신호를 시간영역 신호로 변환하고, 시간영역 신호로부터 파일럿 신호를 제거하는 단계; 및 (f) 상기 (e)단계의 결과신호를 주파수 영역 신호로 변환하여 송신 데이터를 검출하고, 검출된 데이터를 직렬 데이터로 변환하여 복호화하는 단계를 포함함을 특징으로 한다.

<36> 이하에서 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 보다 상세히 설명하기로 한다. 도 3은 본 발명에 따른 OFDM 신호의 송신장치에 대한 블록도이다. 도 3에 따른 OFDM 신호의 송신장치는 부호화기(300), 직렬/병렬 변환기(302), 블록신호 영역 변환기(304), 파일럿 신호 첨가기(306), 병렬/직렬 변환기(308), 순환 프리픽스 첨가기(310) 및 디지털/아날로그 변환기(312)를 포함한다.

<37> 상기 블록신호 영역 변환기(304)는 도 4에 도시된 바와 같이, 송신 분배기(401), '0' 삽입기(402), L개의 M-IFFT(403) 및 송신 결합기(404)를 구비한다.

<38> 도 3 및 도 4를 참조하여 OFDM 신호 송신장치의 동작은 다음과 같다.

<39> 부호화기(300)는 송신하고자하는 데이터 시퀀스 b_n 을 서브심볼 X_n 으로 부호화한다. S/P(302)는 X_n 을 크기가 N인 벡터 또는 블록으로 변환한다.

<40> 블록신호 영역 변환기(304)에서 송신 분배기(401)는 크기가 N인 벡터 또는 블록을 크기가 M인 L개의 벡터 또는 블록으로 나눈다. 즉, $ML=N$ 이다. 이 때, L개의 벡터 또는 블록으로 나누는 방법은 여러 가지일 수 있다. 예를 들어, 차례로 매 M번째 데이터를 추출하여 한 블록으로 만들거나, 첫 번째 데이터로부터 차례로 M개씩 L개의 블록으로 나눌 수도 있다. 이 과정은 다음의 수학적식과 같이 나타낼 수 있다. L개의 블록 $X_n^l, l=0,1,\dots,L-1, n=0,1,\dots,M-1$ 은 다음과 같이 입력 벡터 X_n 로부터 만든다.

<41> 【수학식 3】

$$X_v^l = X_{LM+\nu} = X_n, \quad n = LM + \nu, \quad l = 0, 1, \dots, L-1, \quad \nu = 0, 1, \dots, M-1$$

<42> '0' 삽입기(402)는 DC 오프셋(Offset)을 피하도록 각 블록의 첫 번째 데이터에 '0'을 삽입한다. 도 5는 각 블록의 첫 번째 위치에 '0'가 삽입된 형태를 도시한 것이다. L개의 M-IFFT(403)는 각 블록별로 입력 $X_v^l, l=0, 1, \dots, L-1, \nu=0, 1, \dots, M-1$ 에 대해 다음 식과 같이 M-점 IFFT를 수행하여 $x_m^l, l=0, 1, \dots, L-1, m=0, 1, \dots, M-1$ 을 출력한다.

<43> 【수학식 4】

$$x_m^l = \frac{1}{M} \sum_{\nu=0}^{M-1} X_v^l e^{j2\pi m\nu/M}, \quad l=0, 1, \dots, L-1, \quad m=0, 1, \dots, M-1$$

<44> 송신 결합기(404)는 L개의 M-IFFT(403)의 출력 $x_m^l, l=0, 1, \dots, L-1, m=0, 1, \dots, M-1$ 을 하나의 블록으로 결합하여 $x_k, k=0, 1, \dots, N-1$ 를 출력한다. 송신 결합기(404)의 출력은 송신 분배기(401)의 결합방법에 따라 다음의 수학식 5 및 수학식 6과 같이 나타낼 수 있다.

<45> 【수학식 5】

$$x_k = x_{LM+m} = x_m^l, \quad k = LM + m, \quad l = 0, 1, \dots, L-1, \quad m = 0, 1, \dots, M-1$$

<46> 【수학식 6】

$$x_k = x_{mL+l} = x_m^l, \quad k = mL + l, \quad l = 0, 1, \dots, L-1, \quad m = 0, 1, \dots, M-1$$

<47> 도 6은 M-IFFT된 신호가 합해진 결과의 예를 도시한 것이다.

<48> 파일럿 신호 첨가기(306)는 M-IFFT된 신호중 블록신호 영역 변환기(304)에서 '0'이 삽입된 부분중 $M=1, L=1$ 인 위치를 제외한 나머지 위치에 미리 지정한 파일럿 톤을 시간 영역의 파일럿 신호로 변환하고, 이를 블록신호 영역 변환기(304)에 부가한다. 도 7은

파일럿 신호가 부가되는 예를 주파수 영역에서 도시한 것이다.

<49> P/S(308)는 N개의 구성요소들로 이루어진 벡터 또는 블록을 직렬 시간영역 신호 x_k 로 변환한다. CP 첨가기(310)는 N개의 신호들 중에서 마지막 G개의 신호들을 복사하여 N개 신호들 맨 앞에 첨부한다. 이 (N+G)개의 신호 샘플들은 시간영역에서 하나의 OFDM 심볼 블록을 이룬다. D/A(312)는 OFDM 심볼 블록들을 아날로그 신호로 변환한다. 아날로그 신호는 I/F 및 R/F 신호로 변환되어 채널을 통해 전송된다.

<50> 도 8은 본 발명에 따른 OFDM 신호 수신장치에 대한 블록도이다. 도 8에 따른 OFDM 신호 수신장치는 A/D 변환기(800), CP 제거기(802), S/P 변환기(804), N-FFT(806), 가상 파일럿 신호 삽입기(808), 채널 추정기(810), N-IFFT(814), 파일럿 신호 제거기(816), $L \times M$ -FFT(818), 검출기(820), P/S 변환기(822) 및 복호화기(824)를 포함한다.

<51> 상기 채널 추정기(810)는 도 9에 도시된 바와 같이, 채널 추정기(810)는 파일럿 신호 추출기(900), L-FFT(902), 적응적 저역통과필터(LPF)(904), '0' 패딩기(906) 및 N-IFFT(908)를 구비한다.

<52> 상기 $L \times M$ -FFT(818)는 도 10에 도시된 바와 같이, 수신 분배기(1000), L개의 M-FFT(1001) 및 수신 결합기(1002)를 구비한다.

<53> 상기 구성에 따른 OFDM 신호 수신장치에 대한 동작은 다음과 같다.

<54> A/D변환기(800)는 수신된 아날로그 신호 $r(t)$ 를 디지털 신호 r_k 로 변환한다. CP제거기(802)는 r_k 에서 각 OFDM 심볼 블록의 시작점을 찾아서 순환 프리픽스를 제거하고, N개의 신호 샘플을 출력한다. S/P 변환기(804)는 직렬 신호 샘플을 크기가 N인 벡터 또는 블록으로 변환하고, N-FFT(806)은 N-점 FFT를 수행하여 시간영역 신호 r_k 를 주파수 영역

신호 R_n 으로 변환한다. 가상 파일럿 톤 삽입기(808)는 $M=1$, $L=1$ 인 위치에 가상 파일럿 톤을 생성하여 삽입한다. 가상 파일럿 톤 $P_{M=1,L=1}$ 은 다음 식과 같이 채널 추정기(810)에서 추출된 파일럿 톤중 $M=1$, $L=2$ 인 위치의 파일럿 톤과 $M=1$, $L=L$ 인 위치의 파일럿 톤을 평균하여 생성된다. 그 이유는 $M=1$, $L=2$ 인 위치의 파일럿 톤과 $M=1$, $L=L$ 인 위치의 파일럿 톤이 $P_{M=1,L=1}$ 에 가장 근접해있기 때문이다.

<55> 【수학식 7】

$$P_{M=1,L=1} = \frac{(P_{M=1,L=2} + P_{M=1,L=L})}{2}$$

<56> 도 11은 주파수 영역에서 가상 파일럿 톤을 삽입하는 예를 도시한 것이다.

<57> 채널 추정기(810)는 가상 파일럿 톤이 삽입된 신호로부터 채널을 추정한다. 채널 추정기(810)의 동작을 도 9를 참조하여 보다 상세히 설명하기로 한다. 파일럿 신호 추출기(900)는 N-FFT(806)의 출력신호 R_n 으로부터 가상 파일럿 톤을 포함하여 파일럿 톤을 추출하고, 추출된 값들을 정규화(normalization)한다. L-FFT(902)는 파일럿 신호 추출기(900)에 의해 추출된 파일럿 톤에 대해 L-점 FFT를 수행하여 파일럿 톤들을 주파수 영역에서 트랜스폼 영역(transform domain)으로 변환한다. 적응적 LPF(904)는 설계된 필터 계수에 따라 트랜스폼 영역의 파일럿 톤중 평균 잡음 레벨보다 작은 성분들을 컷오프(cutoff)한다. 도 12a는 트랜스폼 영역의 파일럿 톤의 크기(amplitude)를 도시한 것이다.

<58> '0' 패딩기(906)는 적응적 LPF(904)에서 컷오프된 신호성분들에 '0'을 첨가한다. 도 12b는 트랜스폼 영역에서 컷오프된 신호성분들에 '0'을 첨가된 예를 도시한 것이다.

N-IFFT(908)는 '0' 패딩기(906)의 출력을 주파수 영역으로 변환하여 추정된 채널응답을

얻는다.

<59> FEQ(812)는 채널추정된 값을 탭계수로 하여 N-FFT(806)의 출력 R_n 으로부터 채널에서 발생한 신호변형을 보상한다.

<60> N-IFFT(814)는 FEQ(812)의 출력신호를 N-점 FFT하여 시간영역 신호 w_k 로 변환한다. 파일럿 신호 제거기(816)는 송신시 부가되었던 파일럿 신호를 제거한다. L×M-FFT(818)는 파일럿 신호가 제거된 신호를 주파수 영역으로 변환한다. L×M-FFT(818)의 동작을 도 10을 참조하여 보다 상세히 설명하기로 한다. 먼저, 수신 분배기(1000)는 파일럿 신호 제거기(816)의 출력을 송신장치의 송신결합기와 동일한 형태로 크기가 M인 L개의 블록으로 나눈다. 다음의 수학적식 8 및 수학적식 9는 상기 수학적식 5 및 수학적식 6에 대응하는 수신 분배기(1000)의 동작을 수학적식으로 나타낸 것이다.

<61> 【수학적식 8】

$$\omega_m^l = \omega_{LM+m} = \omega_k, \quad k = LM+m, \quad l=0,1,\dots,L-1, \quad m=0,1,\dots,M-1$$

<62> 【수학적식 9】

$$\omega_m^l = \omega_{mL+l} = \omega_k, \quad k = mL+l, \quad l=0,1,\dots,L-1, \quad m=0,1,\dots,M-1$$

<63> L개의 M-FFT(1001)는 각 블록의 입력 $\omega_m^l, l=0,1,\dots,L-1, m=0,1,\dots,M-1$ 에 대해 M-점 FFT를 수행하여 다음 식에 따른 $w_\nu^l, l=0,1,\dots,L-1, \nu=0,1,\dots,M-1$ 을 출력한다.

<64> 【수학적식 10】

$$w_\nu^l = \sum_{m=0}^{M-1} \omega_m^l e^{-j2\pi m\nu/M}, \quad l=0,1,\dots,L-1, \quad \nu=0,1,\dots,M-1$$

<65> 수신 결합기(1002)는 M-점 FFT된 L개의 블록을 인터리브(interleave)하여 다시 크기가 N인 하나의 블록 Z_n 을 만든다.

<66> 【수학식 11】

$$Z_n = Z_{lM+\nu} = W_\nu^T, \quad n = lM + \nu, \quad l = 0, 1, \dots, L-1, \quad \nu = 0, 1, \dots, M-1$$

<67> 검출기(820)는 $L \times M$ -FFT(818)의 출력으로부터 전송된 서브심볼 x_n 을 검출한다.

병렬/직렬 변환기(822)는 크기 N 의 벡터를 직렬 신호들로 변환하고, 복호화기(824)은 데이터 비트 \hat{b}_n 을 출력한다.

<68> 도 13(a)는 본 발명에 대해 PAR에 대한 클리핑(clipping) 확률을 도시한 것이다.

즉, 도 3의 블록신호 영역 변환부에서 $L \times M$ -IFFT된 시간영역 신호에 파일럿 신호를 부가한 경우의 PAR에 대한 클리핑 확률을 도시한 것이다.

<69> 도 13(b)는 종래 기술에 대해 PAR에 대한 클리핑 확률을 도시한 것이다. 즉, 도 1

에서 N -IFFT가 수행되기 전의 주파수 영역에서 파일럿 톤을 부가한 경우의 PAR에 대한 클리핑 확률을 도시한 것이다.

<70> 비교를 위해 파일럿 톤을 1, $1+i$, $3+3i$ 및 10으로 각각 달리 적용하여 도시한 것이

다. 도시된 바에 따르면, 본 발명이 있어서 PAR는 파일럿 톤의 진폭이 변화하여도 거의 증가하지않는 반면, 종래 기술에 있어서 PAR는 파일럿 톤의 진폭에 따라 PAR가 크게 증가함을 알 수 있다.

<71> 도 14는 페이딩이 심한 채널 환경에서 SNR에 대한 채널추정에러(Mean Square

Error)를 본 발명, 종래기술 및 최적의 경우에 대해 각각 도시한 것이다. 여기서, 종래 기술은 선형보간에 의한 방법이다.

<72> 도시된 바에 따르면, 본 발명의 경우 종래 기술에 비해 채널추정에러를 상당히 줄

일 수 있고, 최적의 경우와 비슷한 채널추정에러를 얻는다.

<73> 페이딩이 심한 채널환경에서 모의실험한 결과 최적의 경우의 비트오율(BER) 성능에 비해 0.5~1dB 이하의 손실을 나타낸다.

【발명의 효과】

<74> 본 발명에 따르면, 채널추정을 위해 시간영역에서 파일럿 신호를 부가함으로써 PAR를 감소시킬 수 있다. 또한, 수신장치에서 가상·파일럿 톤을 주파수 영역에서 삽입함으로써 채널추정에러를 줄이게되어 채널에 의한 왜곡을 보다 정확하게 추정할 수 있다.

【특허청구범위】

【청구항 1】

입력 데이터 시퀀스를 부호화하고, 부호화된 데이터를 병렬로 변환하는 전처리기;

부호화된 데이터를 소정 크기의 블록으로 나누고, 각 블록의 첫번째 위치에 '0'을 삽입하며, 각 블록을 시간영역 신호로 변환하여 결합하는 블록신호 영역 변환기;

상기 블록신호 영역 변환기에서 '0'이 삽입된 위치중 소정 위치를 제외한 위치에 삽입될 파일럿 톤을 시간영역의 파일럿 신호로 변환하고, 상기 블록신호 영역 변환기에서 출력된 시간영역 신호에 상기 파일럿 신호를 첨가하는 파일럿 신호 첨가기; 및

상기 파일럿 신호 첨가기의 출력신호를 직렬 신호로 변환하고, 변환된 신호에 순환 프리픽스를 첨가하며, 그 결과신호를 아날로그 신호로 변환하여 전송하는 후처리를 포함함을 특징으로하는 직교 주파수 분할 다중 신호 송신 장치.

【청구항 2】

제1항에 있어서, 상기 블록신호 영역 변환기는

상기 부호화된 데이터를 M 크기의 L개의 블록으로 나누는 송신 분배기;

각 블록의 첫 번째 위치에 '0'을 삽입하는 '0'삽입기;

상기 각 블록별로 역 고속 푸리에 변환을 수행하는 $L \times M$ -IFFT); 및

시간영역 신호로 변환된 신호들을 결합하는 송신 결합기를 구비함을 특징으로하는 직교 주파수 분할 다중 송신 장치.

【청구항 3】

수신된 신호를 디지털 신호로 변환하고, 변환된 신호에서 순환 프리픽스를 제거하

며, 그 결과 신호를 소정 크기의 병렬 신호로 변환하고, 각 병렬 신호를 주파수 영역 신호로 변환하는 전처리기;

주파수 영역 신호의 소정 위치에 가상 파일럿 톤을 삽입하고, 상기 가상 파일럿 톤 및 송신시 첨가된 파일럿 톤을 추출하며, 추출된 가상 파일럿 톤 및 파일럿 톤으로부터 채널특성을 추정하는 채널 추정기;

추정된 채널 특성에 따라 상기 전처리기의 출력신호에 대해 채널에서 발생한 왜곡을 보상하는 등화기;

상기 등화기의 출력신호를 시간영역 신호로 변환하고, 시간영역 신호로부터 파일럿 신호를 제거하는 중간 처리기;

상기 중간 처리기의 출력 신호를 주파수 영역 신호로 변환하는 신호영역 변환기; 및

변환된 주파수 영역 신호로부터 송신 데이터를 검출하고, 검출된 데이터를 직렬 데이터로 변환하여 복호화하는 후처리기를 포함함을 특징으로하는 직교 주파수 분할 다중 신호 수신 장치.

【청구항 4】

제3항에 있어서, 상기 채널 추정기는

상기 주파수 영역 신호의 소정 위치에 가상 파일럿 톤을 삽입하는 가상 파일럿 톤 삽입기;

상기 주파수 영역 신호에 포함된 파일럿 톤과 가상 파일럿 톤을 추출하는 파일럿 톤 추출기;

추출된 파일럿 톤 및 가상 파일럿 톤을 고속 푸리에 변환하여 트랜스폼 영역 신호로 변환하는 트랜스폼 영역 변환기;

트랜스폼 영역의 파일럿 톤중 소정 레벨이하의 파일럿 톤을 제거하는 적응적 저역통과필터;

파일럿 톤이 제거된 성분에 '0'을 패딩하는 '0'패딩기; 및

'0' 패딩기의 출력신호를 주파수영역 신호로 변환하는 주파수영역 변환기를 구비함을 특징으로하는 직교 주파수 분할 다중 신호 수신장치.

【청구항 5】

제4항에 있어서, 상기 가상 파일럿 톤 삽입기는

첫 번째 블록에 삽입된 파일럿 톤과 마지막번째 블록에 삽입된 파일럿 톤을 평균하여 삽입함을 특징으로하는 직교 주파수 분할 다중 신호 수신장치.

【청구항 6】

제3항에 있어서, 상기 신호영역 변환기는

시간영역 신호를 M 크기의 L 개의 블록으로 나누는 수신 분배기;

상기 각 블록별로 고속 푸리에 변환을 수행하는 $L \times (M-FFT)$; 및

주파수 영역 신호로 변환된 신호들을 합하는 수신 결합기를 구비함을 특징으로하는 직교 주파수 분할 다중 수신장치.

【청구항 7】

(a) 입력 데이터 시퀀스를 부호화하고, 부호화된 데이터를 병렬로 변환하는 단계;

(b) 부호화된 데이터를 소정 크기의 블록으로 나누고, 각 블록의 첫번째 위치에 '0'을 삽입하는 단계;

(c) '0'이 삽입된 각 블록을 시간영역 신호로 변환하여 결합하는 단계;

(d) '0'이 삽입된 위치중 소정 위치를 제외한 위치에 삽입될 파일럿 톤을 시간영역의 파일럿 신호로 변환하고, 상기 각 블록의 시간영역 신호에 상기 파일럿 신호를 첨가하는 단계; 및

(e) 상기 (d)단계의 결과신호를 직렬 신호로 변환하고, 변환된 신호에 순환 프리픽스를 첨가하며, 그 결과신호를 아날로그 신호로 변환하여 전송하는 단계를 포함함을 특징으로하는 직교 주파수 분할 다중 신호 송신 방법.

【청구항 8】

제7항에 있어서, 상기 부호화된 데이터를 $X_n, n=0, 1, \dots, N-1$ 라고 나타낼 때,

상기 (b)단계에서 상기 소정 크기의 블록($X'_{\nu}, l=0, 1, \dots, L-1, \nu=0, 1, \dots, M-1$)은 각각 수학식

$$X'_{\nu} = X_{LM+\nu} = X_n, \quad n = LM + \nu, \quad l = 0, 1, \dots, L-1, \quad \nu = 0, 1, \dots, M-1$$

에 대응하여 나누어지고,

각 블록의 데이터 X'_{ν} 을 시간영역신호로 변환한 신호를 x_m^l 라 할 때,

상기 (c)단계에서 결합된 신호 $x_k, k=0, 1, \dots, N-1$ 는 수학식

$$x_k = x_{LM+m} = x_m^l, \quad k = LM + m, \quad l = 0, 1, \dots, L-1, \quad m = 0, 1, \dots, M-1$$

에 대응하여 결합되는 것을 특징으로 하는 직교 주파수 분할 다중 신호 송신 방법.

【청구항 9】

제7항에 있어서, 상기 부호화된 데이터를 $X_n, n=0,1,\dots,N-1$ 라고 나타낼 때,

상기 (b)단계에서 상기 소정 크기의 블록($X'_l, l=0,1,\dots,L-1$)은 각각 수학식

$$X'_l = X_{lM+\nu} = X_n, \quad n = lM + \nu, \quad l=0,1,\dots,L-1, \quad \nu=0,1,\dots,M-1$$

에 대응하여 나누어지고,

각 블록의 데이터 X'_l 을 시간영역신호로 변환한 신호를 x_m^l 라 할 때,

상기 (c)단계에서 결합된 신호 $x_k, k=0,1,\dots,N-1$ 는 수학식

$$x_k = x_{mL+l} = x_m^l, \quad k = mL + l, \quad l=0,1,\dots,L-1, \quad m=0,1,\dots,M-1$$

에 대응하여 결합되는 것을 특징으로 하는 직교 주파수 분할 다중 신호의 송신 방법.

【청구항 10】

(a) 수신된 신호를 디지털 신호로 변환하고, 변환된 신호에서 순환 프리픽스를 제거하며, 그 결과 신호를 소정 크기의 병렬 신호로 변환하고, 각 병렬 신호를 주파수 영역 신호로 변환하는 단계;

(b) 주파수 영역 신호의 소정 위치에 가상 파일럿 톤을 삽입하고, 상기 가상 파일럿 톤 및 송신시 첨가된 파일럿 톤을 추출하는 단계;

- (c) 추출된 가상 파일럿 톤 및 파일럿 톤으로부터 채널특성을 추정하는 단계;
- (d) 추정된 채널 특성에 따라 주파수 영역의 수신신호에 대해 채널에서 발생한 왜곡을 보상하는 단계;
- (e) 왜곡이 보상된 신호를 시간영역 신호로 변환하고, 시간영역 신호로부터 파일럿 신호를 제거하는 단계; 및
- (f) 상기 (e)단계의 결과신호를 주파수 영역 신호로 변환하여 송신 데이터를 검출하고, 검출된 데이터를 직렬 데이터로 변환하여 복호화하는 단계를 포함함을 특징으로 하는 직교 주파수 분할 다중 신호 수신 방법.

【청구항 11】

- 제10항에 있어서, 상기 (c)단계는
- (c1) 상기 주파수 영역 신호의 소정 위치에 가상 파일럿 톤을 삽입하는 단계;
 - (c2) 상기 주파수 영역 신호에 포함된 파일럿 톤과 상기 가상 파일럿 톤을 추출하는 단계;
 - (c3) 추출된 파일럿 톤 및 가상 파일럿 톤을 트랜스폼 영역 신호로 변환하고, 변환된 파일럿 톤중 소정 레벨이하의 파일럿 톤을 제거하는 단계;
 - (c4) 상기 파일럿 톤이 제거된 성분에 '0'을 패딩하는 단계; 및
 - (c5) 상기 단계의 결과신호를 주파수영역 신호로 변환하는 단계를 구비함을 특징으로 하는 직교 주파수 분할 다중 신호 수신 방법.

【청구항 12】

- 제11항에 있어서, 상기 (c1)단계의 상기 가상 파일럿 톤의 값은

첫 번째 블록에 삽입된 파일럿 톤과 마지막번째 블록에 삽입된 파일럿 톤의 평균값
임을 특징으로하는 직교 주파수 분할 다중 신호 수신 방법.

【청구항 13】

제10항에 있어서, 상기 (f)단계에서 상기 (e)단계의 결과신호를 주파수 영역 신호
로 변환하는 것은

(f1) 상기 (e)단계의 결과신호를 크기가 M인 L개의 블록으로 나누는 단계;

(f2) 상기 각 블록별로 M-점 고속 푸리에 변환을 수행하는 단계; 및

(f3) 상기 단계의 결과를 결합하는 단계를 구비함을 특징으로하는 직교 주파수 분
할 다중 신호의 수신 방법.

【청구항 14】

제13항에 있어서,

상기 각 블록을 이루는 N개의 신호 샘플들을 $\omega_k, k=0,1,\dots,N-1$ 라고 나타낼
때, 상기 (f1)단계에서 상기 L개의 블록들($\omega_m^l, l=0,1,\dots,L-1, m=0,1,\dots,M-1$)은 각각 수학식

$$\omega_m^l = \omega_{LM+m} = \omega_k, k=LM+m, l=0,1,\dots,L-1, m=0,1,\dots,M-1$$

에 대응하여 나누어지고,

각 블록별로 신호 샘플들 ω_m^l 을 M-점 고속 푸리에 변환하여 얻는 신호를 W_ν^l
라 할 때, 상기 (f2) 단계의 결과신호 $Z_n, n=0,1,\dots,N-1$ 은 수학식

$$Z_n = Z_{LM+\nu} = W_\nu^l, n=LM+\nu, l=0,1,\dots,L-1, \nu=0,1,\dots,M-1$$

에 대응하여 결합되는 것을 특징으로 하는 직교 주파수 분할 다중 신호의 수신 방법.

【청구항 15】

제13항에 있어서,

상기 각 블록을 이루는 신호 샘플들을 $\omega_k, k=0, 1, \dots, N-1$ 라고 나타낼 때, 상기 (f1) 단계에서 상기 L개의 블록들($\omega'_m, l=0, 1, \dots, L-1, m=0, 1, \dots, M-1$)은 각각 수학적식

$$\omega'_m = \omega_{mL+l} = \omega_k, \quad k = mL+l, \quad l=0, 1, \dots, L-1, \quad m=0, 1, \dots, M-1$$

에 대응하여 나누어지고,

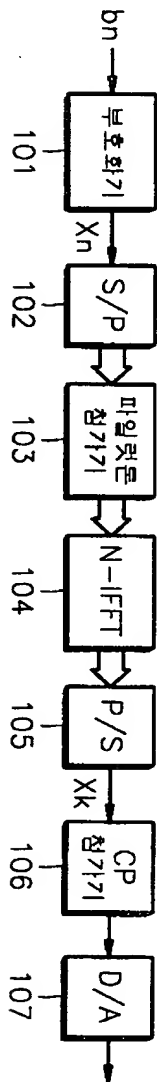
각 블록별로 신호 샘플들 ω'_m 을 M-점 고속 푸리에 변환하여 얻는 신호를 W'_ν 라 할 때, 상기 (f3) 단계의 결과신호 $Z_n, n=0, 1, \dots, N-1$ 은 수학적식

$$Z_n = Z_{LM+\nu} = W'_\nu, \quad n = LM+\nu, \quad l=0, 1, \dots, L-1, \quad \nu=0, 1, \dots, M-1$$

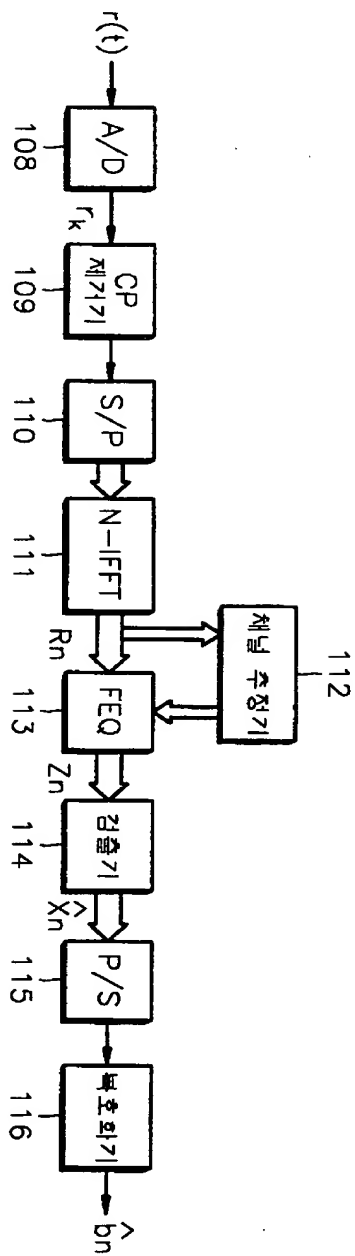
에 대응하여 결합되는 것을 특징으로 하는 직교 주파수 분할 다중 신호의 수신 방법.

【도면】

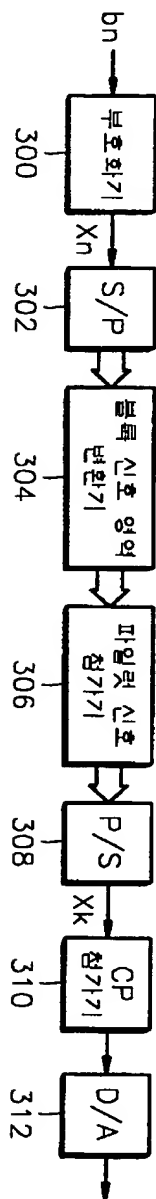
【도 1】



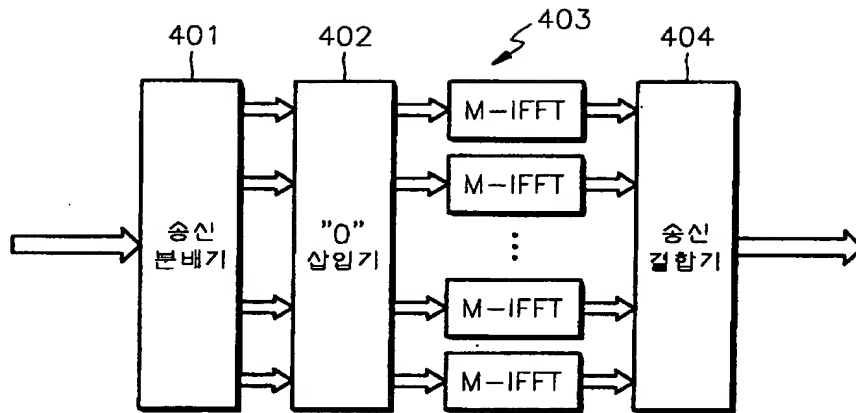
【도 2】



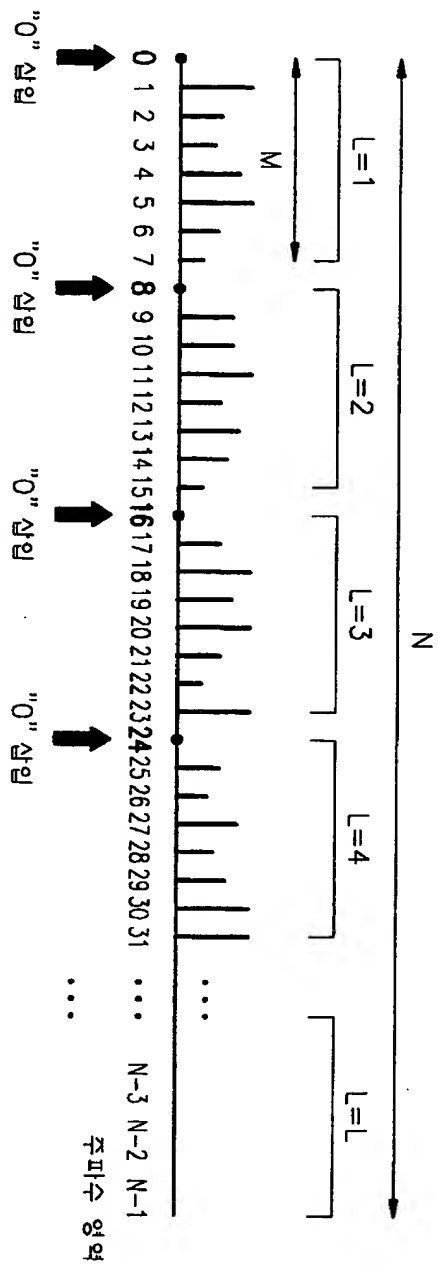
【도 3】



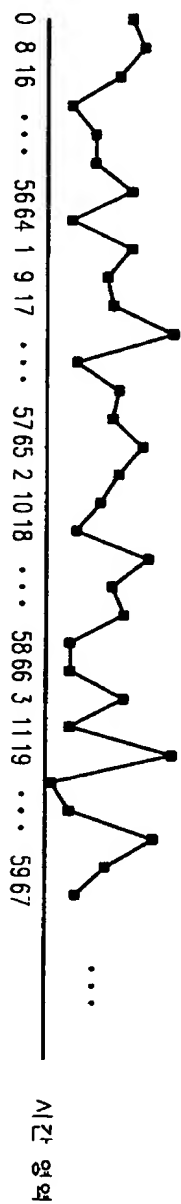
【도 4】



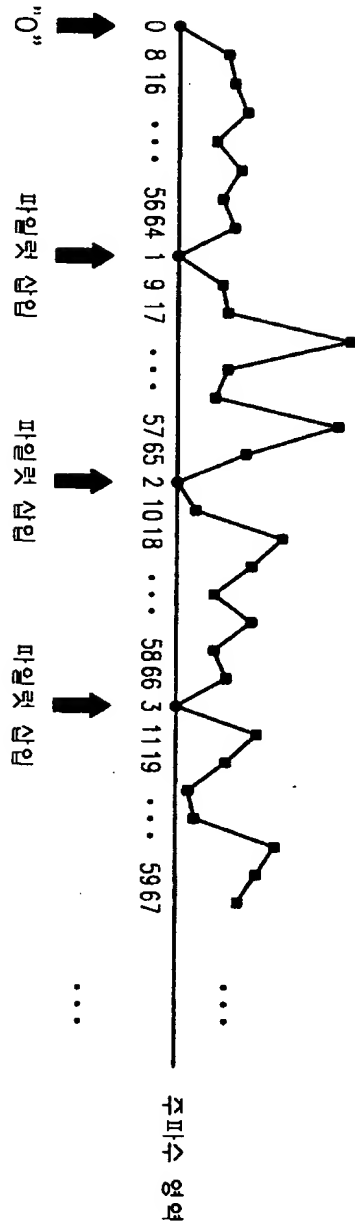
【例 5】



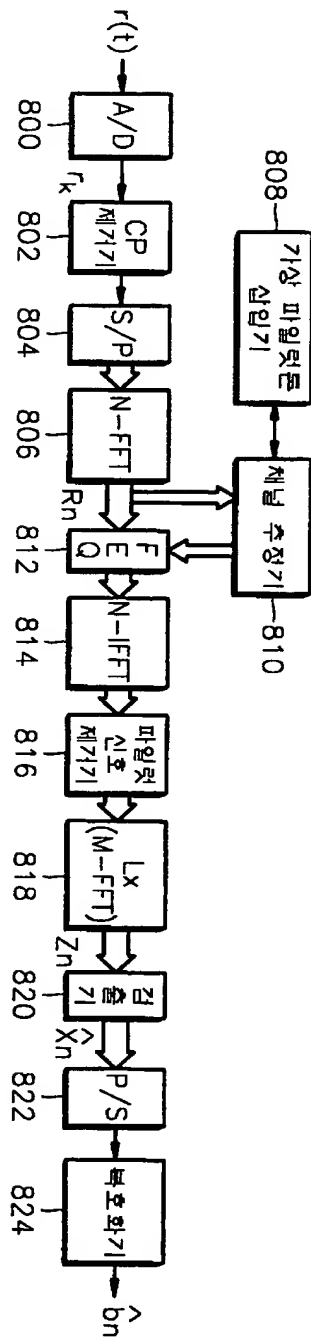
【도 6】



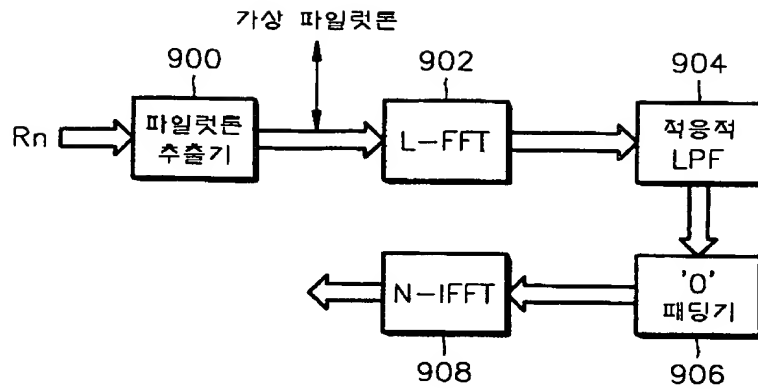
【도 7】



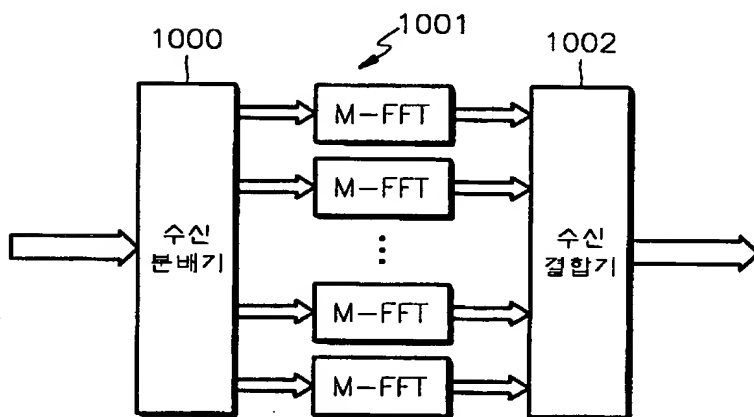
【도 8】



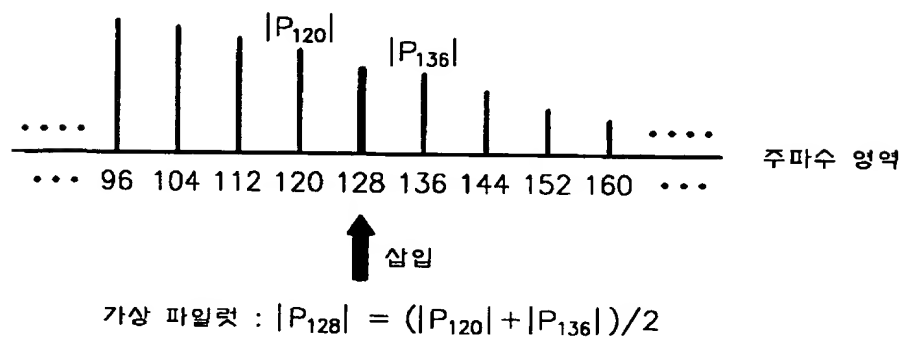
【도 9】



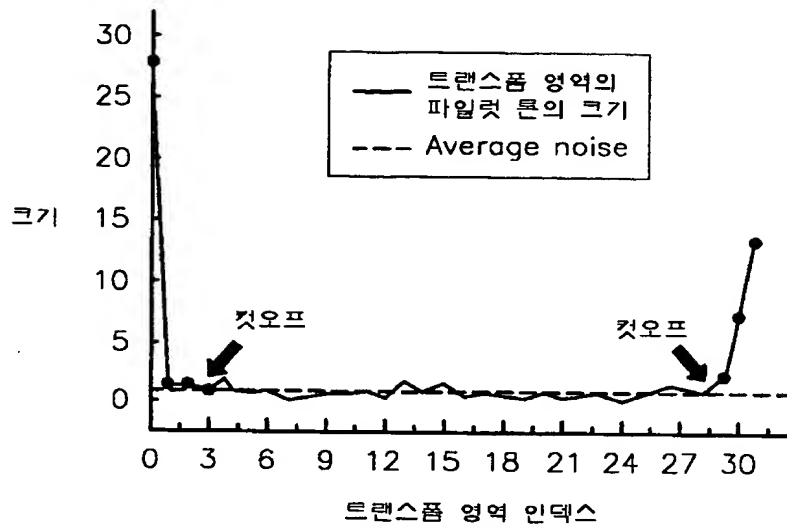
【도 10】



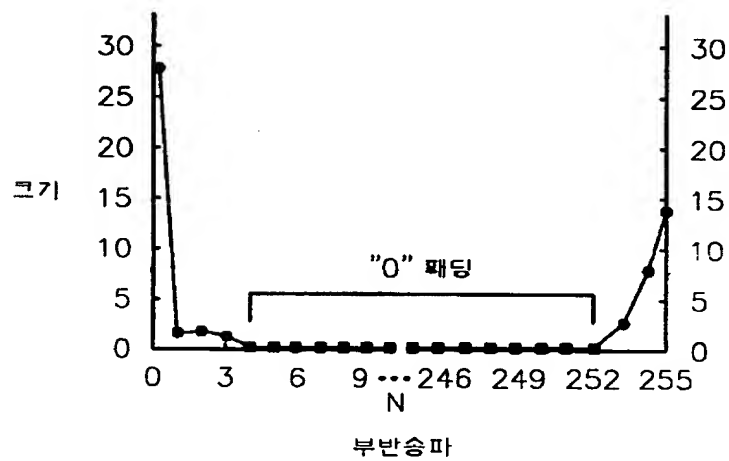
【도 11】



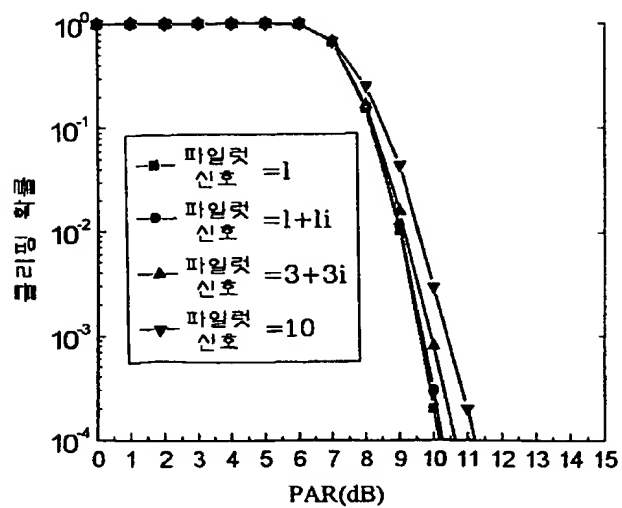
【도 12a】



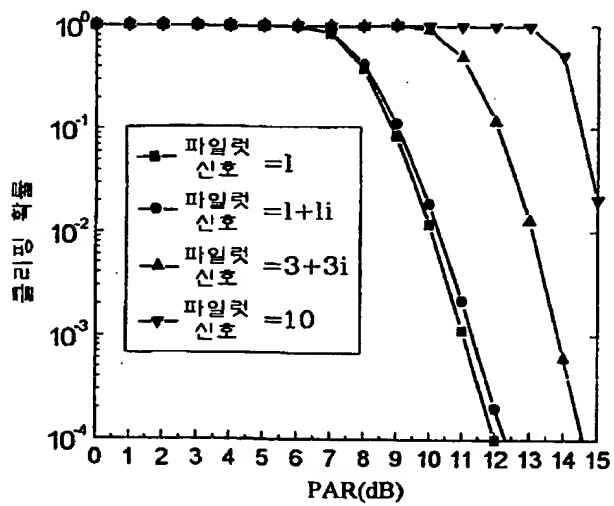
【도 12b】



【도 13a】



【도 13b】



【도 14】

